

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
SECCIONAL ARMENIA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL

Dirección de Proyección social e investigaciones

En marco del convenio interinstitucional No.008 de 2016 entre el departamento del Quindío y la Universidad La Gran Colombia

Estudio
Mapa de puntos de encuentro y rutas de evacuación para eventos de emergencia naturales o antrópicos en el centro urbano del municipio de Pijao Quindio.

Autor

Ing. Johan Naranjo

Colaboradores

Mateo Alonso, Daniel Chávez
Jackeline Fajardo

Armenia Quindío
2017



AGRADECIMIENTOS

Como parte del proceso de acompañamiento y colaboración durante las diferentes fases y actividades del estudio. Agradecemos a todos aquellos que participaron activamente en las actividades realizadas y que representaron a las siguientes entidades:

Universidad la Gran Colombia, seccional Armenia.

Ing. Ximena Cifuentes Wchima
Ing. José Joaquín Vila Ortega
Mateo Alonso
Daniel Chávez
Jackeline Fajardo
Miguel Ospina

Unidad Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres UDEGERD, de la gobernación del Quindío.

Ing. Faber Mosquera Álvarez
Javier Ramírez Flores

Alcaldía Municipal de Pijao

Nolberto serna, Coordinador CMGRD de Pijao
Miembros del cuerpo de bomberos voluntarios de Pijao.

Universidad del Quindío

Valeria Urán, estudiante de comunicación social y periodismo.

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental – Universidad Nacional Autónoma de México

Nicolás Vargas Ramírez

Unidad de Mapeo Humanitario

Fredy Rivera
Janeth Urreste



ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN………………………………………………………………………………4
2. JUSTIFICACIÓN………………………………………………………………………………5
3. ANTECEDENTES DE EMERGENCIAS Y DESASTRES……………………………………6
4. METODOLÓGIA…………………………………………………………………………......9
5. DESARROLLO METODOLÓGICO ………………………………………………………...13
6. RECOMENDACIONES……………………………………………………………………….29
7. LIMITANTES…………………………………………………………………………………..30
8. ANEXOS…………………………………………………………………………………………..30
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS…...…………………………………………………...31

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta los distintos escenarios de riesgo que han sido identificados en el municipio de Pijao; y para dinamizar las acciones de quienes hacen parte del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, se busca que este indispensable instrumento sirva de guía en el actuar no sólo de la Administración Municipal, de los organismos de socorro, sino de todas y cada una de las instituciones y personas que puedan contribuir a disminuir el riesgo de desastres en nuestra localidad.

La ocurrencia de diversos eventos, entre los que se encuentran los generados a raíz del cambio climático, la vivencia de la tragedia del terremoto de 1999, además de otros sismos de considerada magnitud, y la vulnerabilidad misma del municipio, en distintos aspectos que se identifican, por la ubicación, topografía, sumada a los fenómenos naturales y antrópicos que generan riesgo para los habitantes de Pijao, marcan la necesidad de formular un instrumento que guie el actuar de la entidad Territorial y cada una de las instituciones ante cualquier emergencia o desastre.

En marco del convenio interinstitucional No.008 de 2016 entre el departamento del Quindío y la Universidad La Gran Colombia para aunar esfuerzos en el desarrollo de programas y proyectos estratégicos que pretendan ejecutar las entidades suscribientes en áreas afines a su objeto social, igualmente facilitar escenarios y espacios físicos para el desarrollo del presente convenio.

Se desarrolló la cartografía temática escala 1:2.000 con el objeto de establecer los puntos de encuentro y rutas de evacuación frente a cualquier evento que genere emergencia sobre el centro urbano del municipio de Pijao. Ejercicio el cual se enmarca dentro de la estrategia municipal para la gestión del riesgo de desastres.



JUSTIFICACIÓN

La gestión del riesgo se convirtió en un elemento fundamental para un replanteamiento sustancial de la conflictiva articulación entre sociedad y naturaleza (UNAM, 2012), lo cual hace que se genere la necesidad de estudiar, comprender y realizar acciones que conlleven a mitigar los riesgos asociados a la relación entre sociedad-ambiente.

> *"Los desastres de origen natural han generado una preocupación constante en las distintas escalas territoriales, por tanto, trascienden los ámbitos locales y ocupan, en la actualidad, un papel preponderante en las agendas de los organismos internacionales, "[…] las sociedades humanas deben vivir con el riesgo que representan los peligros de la naturaleza. No obstante, no somos en absoluto incapaces de prevenir y mitigar los efectos de los desastres […]" (Naciones Unidas 2005, 4).*

La Ley 1523 establece que la gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro y con la gestión ambiental territorial sostenible. La misma Ley define que la Gestión del Riesgo de Desastres se implementa a través de tres procesos claves o misionales: (i) el Conocimiento del Riesgo, (ii) la Reducción del Riesgo y (iii) el Manejo de Desastres. En el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres se reconocen, además de los procesos misionales definidos en la Ley, los procesos de dirección y de apoyo, los cuales tienen la intención de proveer los recursos y la direccionalidad necesaria para cumplir con el objetivo de la Gestión del Riesgo de Desastres.

Con la cartografía e identificación de puntos de encuentro y rutas de evacuación para cualquier evento que genere condición de riesgo u amenaza sobre los habitantes del centro urbano del municipio, se brinda un componente sustancial en la reducción y mitigación del riesgo, con el fin de apoyar al Municipio de Pijao en el proceso de adherencia a las ley 1523 del año 2012 (Ley de gestión del riesgo), integrando esta información al Esquema de Ordenamiento Territorial.

ANTECEDENTES DE EMERGENCIAS Y DESASTRES EN EL MUNICIPIO

En la historia del Municipio de Pijao, se han presentado emergencias de Gran magnitud, generadas principalmente por las crecientes del *Río Lejos*, el cual cruza por un costado del casco urbano del Municipio; estas crecientes han sido ocasionadas por la deforestación y el sobre pastoreo en la parte alta del Río Lejos, donde se formó una Cárcava denominada (Las Camelias), en la cual se han desarrollado obras de bioingeniería, reforestación, y demás intervenciones realizadas por el municipio y la CRQ, que han disminuido la amenaza por la citada cárcava. No obstante, se ha identificado la Cárcava de "*Las Pizarras*" que deposita material sobre la quebrada "*La Española*", que desemboca en el Río Lejos, y que en temporada de lluvias, con mayor fuerza en los años 2010-2011, ha aportado material de considerable tamaño y peligrosidad; a lo que además se suma la composición de los suelos y las zonas de inundación, toda vez que el río anteriormente y por historia pasaba por donde está construida la Carrera 4ª. Estas crecientes del Río Lejos han dejado personas Muertas, Lesionadas, pérdida de Cultivos, colapso de Viviendas, estructuras de puentes, entre otros. Es uno de los principales escenarios de riesgo existentes en el municipio. (Estrategia municipal de gestión del riesgo, 2016)

Por la ubicación Geográfica del Municipio de Pijao, toda vez que el mismo es atravesado por la Quebrada "*El Inglés*", y por un costado se encuentra la Quebrada "*La Cascada*", que recogen las aguas que caen de las laderas aumentando su caudal, se han presentado inundaciones en las viviendas situadas a las orillas de la quebrada, generando la reubicación de algunas viviendas en la Calle 11, Calle 12 y Calle 13, entre Carreras 5ª y 6ª.

Con respecto al riesgo que presentan algunos barrios del sector urbano por su ubicación y/o Construcción podemos enunciar los siguientes:

- ***El Paraíso***: Presenta riesgo por posibles inundaciones, por encontrarse construidos en la rivera del Río Lejos
- ***Morro Seco y sector de las Escalas***, presenta riesgo por deslizamiento y mal manejo de las Aguas lluvias.
- ***Sector de la Carrera 5 entre Calles 13 a 16***, Inundación por la quebrada "El Inglés", y procesos erosivos
- ***Calle Larga***, Inundación por el Rio Lejos.
- ***La Planta***, Inundación por el Río Lejos.
- ***Nuevo Amanecer***, Deslizamientos
- ***Rivera de la Quebrada el inglés***, por inundación.
- ***Rivera de la Quebrada la Cascada*** Viviendas de la Calle 13 y Carrera 5 hasta su desembocadura, por inundación.



El Municipio de Pijao, el 25 de Enero de 1999, fue golpeado por el sis del Eje Cafetero, dejando personas Fallecidas y Lesionadas, además de la destrucción del Municipio en un 80%, aproximadamente, correspondientes a viviendas, colapso de líneas vitales etc.

El 25 de Octubre del 2001, por situaciones de orden público el Municipio de Pijao fue objeto de una Toma Guerrillera por parte de Grupos al Margen de la Ley afectando el Puesto de Policía y las viviendas ubicadas en el entorno dejando personas lesionadas.

Durante el Fenómeno del Niño y Tiempo Seco, se han presentado gran número de incendios de cobertura vegetal, en distintos sectores del municipio, afectando variedad de cultivos y algunas viviendas en la zona rural.

Así mismo, debido a la variabilidad climática, se ha evidenciado la presencia de corrientes de fuertes vientos, especialmente en las veredas "*Arenales*", "*Cañaveral*", "*La Mariela*", y en el sector del barrio "*El Paraíso*", en la zona urbana.

Identificación de Amenazas

ORIGEN		TIPO	AMENAZA	EVENTOS ASOCIADOS
AMENAZAS	NATURAL	Geológico	Sismos	Colapso estructural,
				incendios, explosión,
				remoción en masa.
			Remoción en masa	Erosión, avalanchas, crecientes súbitas
		Hidrometeorológico	Tormentas eléctricas	Vendavales
			Inundaciones	Deslizamientos
	ANTROPOLÓGICA	Social	Degradación de ecosistemas	Erosión, Tala, deforestación.
			Incendios forestales	Desertificación.
			Turismo mal controlado	Concentración masiva de personas, accidente de tránsito en carreteras.
			Conflictos civiles	Atentados, Hostigamientos, Tomas, taponamiento de vías, bloqueo de actividades
		Tecnológico	Incendio estructural	Explosiones, fugas.
			Tanque de almacenamiento agua	Inundaciones, Deslizamientos
			Explosiones	Fugas, incendios, Artefactos, Explosivos

Tabla 1. Identificación de amenazas, estrategia municipal de gestión del riesgo, Pijao 2016.

Identificación de áreas de amenaza y riesgos naturales

(Por sismicidad, deslizamiento e inundaciones)

Según Estudios desarrollados en los últimos 15 años donde se evalúa las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para el casco urbano de Pijao; lo que han puesto en evidencia la alta susceptibilidad del municipio a sufrir movimientos en masa, inundaciones y creciente súbitos, además de estar en una zona de alto riesgo sísmico por efecto de estructuras geológicas activas.

Es de resaltar que los habitantes de Pijao son conocedores de la alta vulnerabilidad y de su nivel de riesgo, estos fenómenos con los que han aprendido a convivir por más de 90 años facilitando la determinación de acciones y planes para minimizar sus efectos y evitar la ocurrencia de un desastre.

Para lo anterior las autoridades competentes han constituido un comité técnico interdisciplinario que desde el año 1991 han propuesto y priorizado las acciones más viables desde el punto de vista técnico y económico.

Cualificación de las Susceptibilidad a Fenómenos Hidrológicos y Geotécnicos

De un análisis técnico detallado y de un inventario del comportamiento torrencial del río Lejos en los últimos 50 años, se determinó el nivel cualitativo de riesgo específico para los diferentes sectores urbanos a fenómenos tales como movimientos en masa, inundaciones y/o avenidas torrenciales, en una tabla que resume y especifica los sectores de alto riesgo y medio riesgo por ser estas, las más determinantes en la toma de decisiones para escoger las zonas de expansión y reconstrucción del municipio. Además se adicionan unas acciones prioritarias y a largo plazo que permitan una recuperación del área o disminuir la susceptibilidad a dichos fenómenos.

AMENAZA	PRIORIDAD				AMENAZA	PRIORIDAD			
	I	II	III	*		I	II	III	*
Accidente de tránsito aéreo.			x		Incendio forestal.		x		
Accidente de tránsito ferroviario.				x	Incendios en estación de combustible.		x		
Accidente de tránsito fluvial.				x	Incidente con materiales peligrosos.			x	
Accidente de tránsito marítimo.				x	Inundación lenta.			x	
Accidente de tránsito terrestre.		x			Inundación súbita.		x		
Ataque o toma armada a población.				x	Marcha campesina.			x	
Atentado terrorista urbano o rural.				x	Paro armado.			x	
Avalancha (flujo torrencial por cauce).	x				Protesta civil.			x	
Congregación masiva de personas.			x		Protesta indígena o sindical.				x
Deslizamiento.		x			Sequía.			x	
Desplazamiento forzado de población.				x	Sismo o terremoto.	x			
Erosión.			x		Tormenta eléctrica.			x	
Erupción volcánica.			x		Tsunami (maremoto).				x
Explosión.		x			Vendaval (viento fuerte).		x		
Fenómeno cálido del pacífico.			x		Voladura de torres de conducción eléctrica.				x
Huracán.				x	Voladuras de puentes viales o peatonales.				x
Incendio estructural.		x			Voladuras de tramo de oleoducto.				x

Tabla 2. Priorización de amenazas, estrategia municipal de gestión del riesgo, Pijao 2016.

METODOLOGÍA

La información cartográfica constituye una herramienta base para la representación de los diagnósticos y análisis territoriales, en este caso específico, enfocado en la gestión del riesgo, como resultado se elaboran documentos geográficos o mapas que resumen las temáticas, entregando información georrefenciada, precisa, actualizada, y confiable; fundamental del área de estudio.

La información cartográfica del estudio se desarrolló a partir de la resolución No. 1415 del 17 de agosto de 2012, adoptando el modelo de almacenamiento geográfico, referido al diseño y estructura del modelo de datos de la geodatabase. Con el fin de lograr la recopilación de la información geográfica, dando cumplimiento a los requerimientos técnicos necesarios para la presentación de estudios ambientales, garantizando que la información sea precisa, confiable e intercambiable. En el mismo sentido se adoptó el modelo almacenamiento para la cartografía base según lo desarrollado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Para la documentación de la información se utilizó la Norma Técnica Colombiana NTC 4611 versión 2013-08-14 de Metadatos, establecida por Icontec.

Este apartado está dedicado a presentar la metodología para la elaboración del anexo cartográfico, a escala 1:2.000, en el marco de los lineamientos específicos para la presentación de estudios ambientales y estándares para la generación y publicación cartográfica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible específicamente la Metodología para la Presentación de Estudios Ambientales, apartado especificaciones para la elaboración de la cartografía.

Los procedimientos realizados se dividen en las siguientes etapas:

- Definición de las ventanas cartográficas

Consiste en la delimitación de un área geográfica a cartografiar de acuerdo a la escala de salida del mapa, la cual contiene las áreas temáticas de interés en un contexto. Para la ventana 2.000 se tuvo en cuenta la localización del centro urbano del municipio.

Para la salida grafica escala 1:2.000 el criterio consistió en centrar las diferentes temáticas dentro de la ventana en el contexto de los elementos de la estructura urbana municipal y los puntos de encuentro.

- Consulta y recopilación de información oficial

Las fuentes de información oficial utilizadas para la elaboración de las diferentes temáticas se obtuvieron de las entidades encargadas en la producción de cartografía como IGAC, INGEOMINAS, IDEAM y alcaldía municipal.

- Generación del modelo de datos

Corresponde al modelo de almacenamiento de la información geográfica digital organizado en las diferentes entidades geográficas, capas o niveles de información como featuredatasets y featureclass con sus respectivos campos, definición de variables y almacenamiento en geodatabase. Procedimiento realizado para la base cartográfica y temática.

El modelo adoptado, está elaborado con base en los requerimientos de la base de datos geográfica corporativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (GDB – MADS - ANLA). Cumpliendo con la estructura definida por cada componente. La información digital se encuentra en Geodatabase.

- Levantamiento de información en campo

Se realizó reconocimiento de campo, identificando los sitios de encuentro y rutas de evacuación haciendo uso de equipos de navegación por satélite Garmin 62s y fotografías de identificación para cada uno. Se realizó el levantamiento de 27 puntos de control con Global Navigation Satellite System (GNSS) de precisión entre ellas 3 placas geodésicas del IGAC (GPS DNQ 43-44 y 45) con el objeto de amarrar el levantamiento.

- Digitalización, estructuración, y almacenamiento en geodatabase

La base cartográfica del área de estudio es el producto de la digitalización de las planchas análogas IGAC, georefenciadas con error medio cuadrático RMS inferior a 2 pixeles (3m) y el mosaico multiespetral de vexcel ultracam D del IGAC de 2009 de 0,5 m de resolución, cumpliendo con el máximo permitido para la captura de vías, red hídrica, construcciones, curvas de nivel y sitios de interés; se complementó la información con Ortofotomosaico de 0,06 m Levantado con drone (Tarot FY680 Iron Man, equipado con cámara GoPro Hero 4 Silver sobre gimbal Tarot T4-3D) procesada en Agisoft PhotoScan Professional por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental – Universidad Nacional Autónoma de México 27-04-2017 y orto rectificada con error medio cuadrático de 0,2817 m por la Gran Colombia Armenia.



La información está representada en el Marco de referencia MAGNA – SIRGAS, asociado al elipsoide GRS80 (Global Reference System 1980), Coordenadas planas Gauss Krüger Proyección Transversa de Mercator, Falso este 1.000.000, Falso norte 1.000.000 meridiano central -77,077508 Origen Oeste, latitud de origen 4,596200 y unidades metros.

Cada nivel de información geográfica es capturado y migrado respectivamente al modelo de datos digital, compuesto por la geodatabase. Con control de calidad digital topológico y consistencia temática en los atributos. Los formatos de almacenamiento utilizados se indican en la **Tabla 3, formatos de almacenamiento.**

NOMBRE	FORMATO
Formato	Imagen ortofotomosaico ultracam D de 0,3 m IGAC escala 1:10.000, Archivos GeoTIFF, 2009.
	Imagen ortofotomosaico de cámara GoPro Hero 4 Silver sobre gimbal Tarot T4-3D de 0,06 m escala 1:2.000, Archivos GeoTIFF, 2017.
	FeatureClass Geodatabase GDB
	Mapas Archivo PDF
	Metadato Archivo XLS
Versión	ArcGIS versión 10.3 MXD, y Geodatabase GDB

Tabla 3. Formatos de almacenamiento.

- Generación de temáticas y salidas graficas

Posteriormente se realizaron las salidas gráficas en PDF de tamaño 1.200 * 900 mm con formato establecido por la universidad Gran Colombia, acogiendo la simbología adoptada corresponde al catálogo de objetos CO-25 IGAC. Versión 2. Así como la definida por INGEOMINAS.

- Creación de metadatos

Con el objetivo de documentar la información cartográfica desarrollada, se realizó un metadato detallado de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC-4611, por cada documento o mapa. Exportado para su lectura en formato XLS. El metadato permite que la información tenga trazabilidad y trasparencia en la producción y salida cartográfica, con lo cual se facilita la interoperabilidad entre los datos que vienen de diferentes fuentes, de modo que cualquier usuario conozca los datos.

DIAGRAMA DE FASES DE TRABAJO

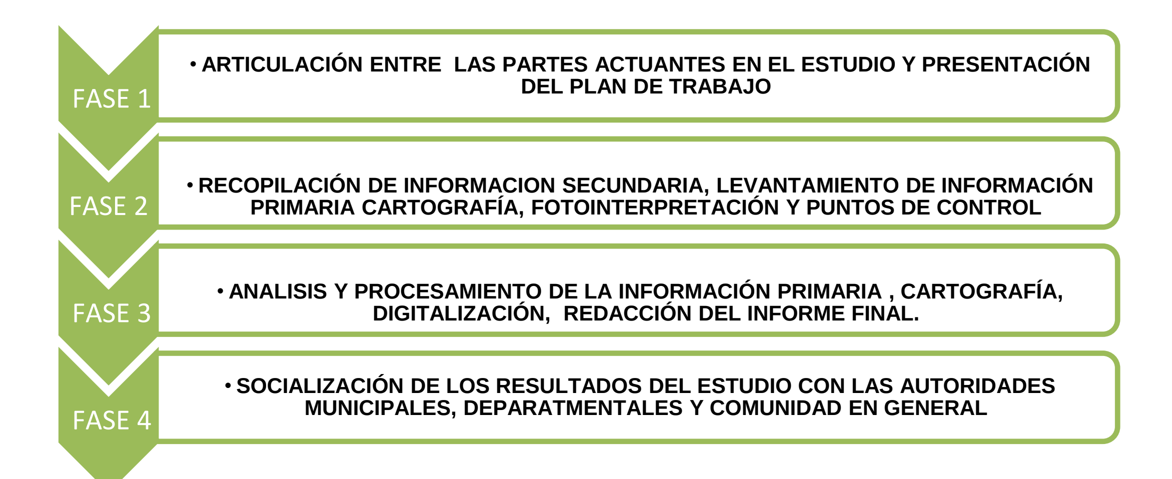


Figura 1. Diagrama de fases de trabajo.

DESARROLLO METODOLÓGICO

Articulación entre las partes actuantes en el estudio y presentación del plan de trabajo.





Fotografía 1 y 2: Reunión de articulación y compromisos, defensoría del pueblo.

Recopilación de información secundaria, levantamiento de información primaria cartografía, fotointerpretación y puntos de control.

Información secundaria:

- Esquema de ordenamiento territorial vigente, 2000.
- Plan de desarrollo territorial del municipio de Pijao para periodo 2.016- 2.019 “el gobierno del pueblo”
- POMCA del rio la vieja 2008,
- Mapas geológicos del Servicio geológico Colombia
- Plan de acción ambiental CRQ, 2016.
- PGAR CRQ, 2012.
- Investigaciones locales, regionales, nacionales e internacionales con respecto al tema del estudio.
- Información espacial (cartografía base y temática, imágenes satelitales, aerofotografías, Modelos de elevación digital DEM, imágenes de RADAR).
- Inventarios de atención de emergencias y sitios de emergencias correspondientes a movimientos en masa, inundación, avenida torrencial en la zona de estudio.
- Estrategia municipal de gestión del riesgo de desastres de Pijao, 2016.

Levantamiento de información primaria y puntos de control:





Fotografía 3,4 y 5: Puntos de control





Fotografía 6,7 y 8: Puntos de control y anclaje a placas geodésicas IGAC con GNSS. (Placas GPS DQN 43-44-45)



Se levantaron 27 puntos de control terrestres con GNSS de precisión submetrica, entre ellos 3 placas geodésicas del IGAC, con el objeto de realizar la corrección fotogramétrica digital y anclaje a terreno. **Ver anexo A**, cartera de campo con registro fotográfico.

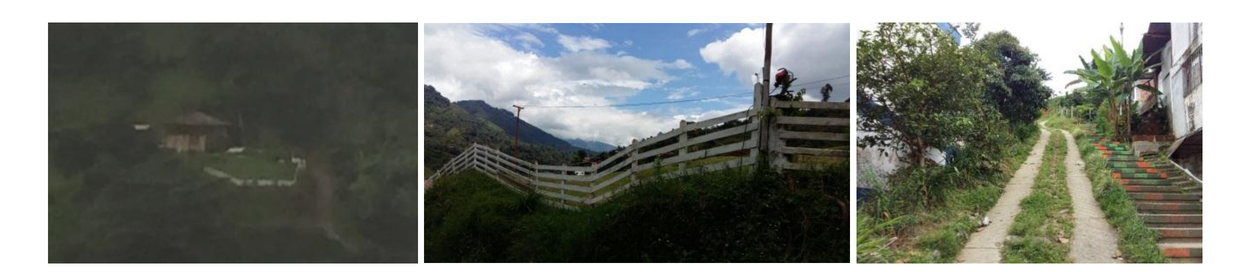
Figura 2. Puntos de control terrestres levantados en campo.



Fotografía 9 y 10: Punto de encuentro PE -1 Finca Villa Isabela



Fotografía 11: Punto de encuentro PE -2 Bomberos



Fotografía 12: Punto de encuentro PE -3 María Auxiliadora



Fotografía 13: Punto de encuentro PE -4 Ladrillera





Fotografía 14: Punto de encuentro PE - 5 Finca la Lechera



Fotografía 15: Punto de encuentro PE - 6 Impes





Fotografía 16: Punto de encuentro PE - 7 Finca Paraíso Alto

Los puntos de encuentro fueron identificados y seleccionados en conjunto con los organismos de socorro del municipio, los cuales fuesen puntos de encuentro multipropósito a ser usados en cualquier tipo de evento que genere algún grado de alerta o emergencia en el municipio, y brinden a la comunidad un sitio seguro, abierto y con vía ó camino de acceso fácil, los cuales se sitúan en alturas por encima de los 10 a 25 metros sobre el cauce del rio lejos.

Dentro del proceso de trabajo de campo, los organismos de socorro del municipio ya tenían 4 sitios identificados, los cuales se verificaron con el objeto de poder cumplir con las condiciones y características antes mencionadas; debido a que la población del centro urbano a evacuar según cifras del DANE a proyecciones de 2017, la población de es de 3654 habitantes y sumado a esto se estima un aproximado de 50-100 personas flotantes entre turistas y visitantes diarios.

Esta situación generó la necesidad de buscar tres puntos de encuentro adicionales, teniendo en cuenta que el centro urbano tenia barrios y sectores sin puntos de encuentro cercanos y poder distribuir toda la población de una forma más equitativa frente al adecuado uso de rutas de evacuación y no saturar puntos de encuentro con mayor población unos de otros; los puntos de encuentro adicionales fueron (Finca villa Isabela, Finca la Lechera y Finca el Paraíso).

Punto de Encuentro	Coordenadas Planas Origen Magna Colombia Oeste		Altura (m)	Nombre
	Este	Norte		
PE 1-	1152440,87	971620,97	1688	Finca Villa Isabela
PE 2 -	1152526,91	971347,89	1700	Bomberos
PE 3 -	1152292,89	971268,74	1675	Maria Auxiliadora
PE 4 -	1152203,59	971140,16	1671	Ladrilleros
PE 5 -	1152122,18	970738,73	1680	Finca La Lechera
PE 6 -	1152499,00	970736,00	1665	Impes
PE 7 -	1153062,76	971311,11	1725	Finca Paraiso Alto

Tabla 3. Consolidado puntos de encuentro.

Toma de imagen multiespectral con Dron:

Con el objeto de brindar una información espacial reciente, la cual nos brindara unas características geográficas de la estructura urbana del municipio, las condiciones actuales del cauce del rio lejos, elementos catastrales, infraestructura vial etc; Con apoyo de la unidad de mapeo humanitario en convenio con la UDEGERD de la gobernación del Quindio, se realizó la toma de imágenes áreas mediante equipo UAV vehículo aéreo no tripulado dron (Tarot FY680 Iron Man, equipado con cámara GoPro Hero 4 Silver sobre gimbal Tarot T4-3D) con una toma de 191 imágenes, para brindar una cobertura de 0,86 km² del centro urbano, con una altura media de vuelo de 142 m.

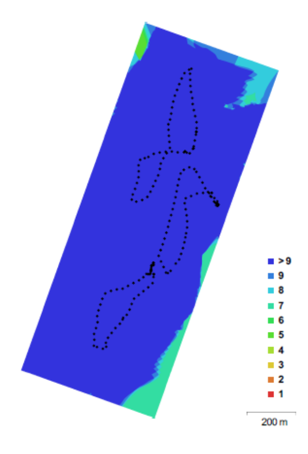


Figura 3. Posición de cámara y solapamiento de imágenes. Fuente: Unidad de mapeo Humanitario y Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México.

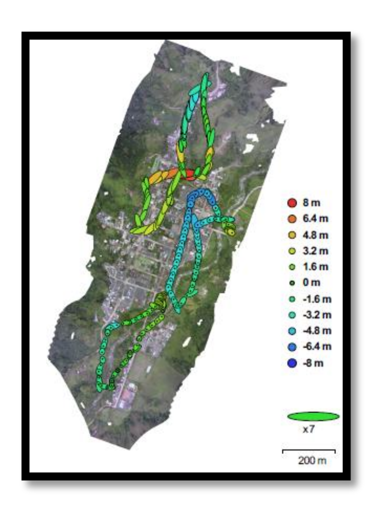


Figura. 4. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.
El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.
Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.
Fuente: Unidad de mapeo Humanitario y Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
2,201	3,933	2,891	4,507	5,354

Tabla 4. Errores medios de las posiciones de cámaras. Fuente: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Análisis y procesamiento de la información primaria, cartografía, digitalización, redacción del informe final.

Con base en las imágenes 191 imágenes tomadas por el dron; se realizó el procesamiento de las imágenes por parte del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México en software Agisoft PhotoScan Professional obteniendo como resultado, un ortofotomosaico multiespectral de 0,06 m de resolución espacial, y un modelo de elevación digital DEM, de temporalidad del 27 de abril de 2017.



Figura. 5. Ortofotomosaico del centro urbano de Pijao. Fuente: Unidad de mapeo Humanitario y Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México.



Parámetros de procesamiento:

Generales	
Cámaras	191
Cámaras orientadas	191
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Nube de puntos	
Puntos	131,726 de 155,817
RMS error de reproyección	0.24593 (0.938813 pix)
Error de reproyección máximo	0.755777 (30.7811 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.55114 pix
Superposición efectiva	5.24617
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Pre-procesar emparejamiento de imágenes	Genérico
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Restricción de máscara activa	Sí
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	20 minutos 15 segundos
Tiempo de orientación	4 minutos 33 segundos
Mapas de profundidad	
Número	191
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Alta
Nivel de filtrado	Leve
Duración del procesamiento	8 horas 23 minutos
Nube de puntos densa	
Puntos	37,402,093
Parámetros de reconstrucción	
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Leve
Tiempo de generación de mapas de profundidad	8 horas 23 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	13 minutos 27 segundos
Modelo	
Caras	2,493,261
Vértices	1,246,735
Parámetros de reconstrucción	
Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Alta
Filtrado de profundidad	Leve
Número de caras	2,493,471
Duración del procesamiento	2 minutos 5 segundos
DEM	
Tamaño	7,739 x 11,870
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Parámetros de reconstrucción	
Datos fuente	Malla
Interpolación	Habilitada
Duración del procesamiento	37 segundos
Ortomosaico	
Tamaño	15,478 x 23,740
Sistema de coordenadas	WGS 84 (EPSG::4326)
Canales	3, uint8
Modo de mezcla	Mosaico
Parámetros de reconstrucción	
Superficie	Modelo digital de elevaciones
Permitir la corrección de color	No
Duración del procesamiento	7 minutos 7 segundos
Software	
Versión	1.2.6 build 2834
Plataforma	Windows 64 bit

Tomando como referencia las limitantes que se presentan en el momento de levantamiento de la información con dron, tales como, velocidad y dirección del viento, condiciones topográficas, etc, las cuales generan algún parámetro de error y limitan la precisión de la información, donde en nuestro caso, la imagen multiespectral resultante presentó un error compuesto de 5,35 metros, 2,2 m en “X” (Este), 3,9 m en “Y” (Norte), 4,5 m en “XY” y 2,89 m en “Z” (Altura).

Un Modelo de Elevación Digital (DEM)[1] y una imagen multiespectral, son representaciones visuales y matemática de los valores de altura “Z” con respecto al nivel medio del mar y localización en coordenadas planas “X” (Este) y “Y” (Norte), los cuales permiten caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular.

En los DEM existen dos cualidades esenciales que son: la exactitud o precisión y la resolución horizontal (medida por el GSD) o grado de detalle digital de representación en formato digital[2]. La exactitud y la resolución varían dependiendo del método que se emplea para generarlos. Los DEM son modelos de la elevación de la superficie, pero a menudo no son tratados como tal, sino más bien como representaciones ciertas (reales) de la superficie terrestre, pero los DEM, como cualquier otro conjunto de datos espaciales, tienen errores, afectando también sus aplicaciones y usos. Sin embargo, no siempre se evalúan los efectos de dichos errores sobre la elevación y otros parámetros derivados (pendiente, índice topográfico, por ejemplo). Para medir la incertidumbre existen diferentes estadísticos y medios de recolección de información.

Los modelos de elevación digital o DEM, son representaciones de la topografía y tienen errores inherentes que generan incertidumbre. Esta incertidumbre no solamente a menudo se desconoce, si no también, no se analiza sus implicaciones sobre los productos derivados de los DEM. El uso de instrumental estadístico es idóneo para determinar cuantitativamente la incertidumbre asociada a dichos modelos. Por tal razón, se optó por realizar la corrección fotogramétrica digital con base en los puntos de control terrestre tomados en campo, tomando como referencia los estándares indicados por parte del National Spatial Date Infrastructure NSDI de E.E.U.U en el documento Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy.

1 DEM: Digital Elevation Model. Hay dos tipos de DEM: el Modelo Digital de Terreno o DTM (Digital Terrain Model) y el Modelo Digital de Superficie o DSM (Digital Surface Model). Se entiende por DTM a la modelización del terreno eliminando las alturas de las infraestructuras humanas o culturales y las alturas de la vegetación. Por el contrario, el DSM es la modelización del terreno teniendo en cuenta las alturas de todos los elementos.

2 Dos características adicionales de los DEM son su cobertura geográfica y la calidad de los datos. La cobertura geográfica se refiere a las zonas geográficas sobre las cuales existen datos disponibles; la calidad de los datos depende de la aplicación o no de tratamientos de corrección de los datos tras su recuperación.

3 RMSE: Root Mean Square Error. 3 Fórmula del RMSE:

$$RMSE = \sqrt{\frac{S^2}{2n-1}}$$

n: *Número de mediciones;* Xi: *Diferencia del punto de control y punto sobre la imagen; S²: promedio de* $\bar{X} - Xi$.

Estándares para Precisión de Datos Espaciales.

La prueba preferida para comparar datos espaciales es compararlos contra otro conjunto de datos de alta precisión provenientes de una fuente independiente.

Se utiliza el RMSE (Root Mean Square Error) como estimación de la precisión o exactitud posicional. Donde el RMSE es la raíz cuadrada del promedio del conjunto de datos de las diferencias cuadráticas entre el conjunto de datos de los valores de las coordenadas del DEM y el ortofotomosaico evaluado y los valores de las coordenadas provenientes de una fuente independiente.

> *"El conjunto de datos de alta precisión generados por una fuente independiente deben ser bien definidos (visibles o recuperables del terreno), deben levantarse separada e independiente del DEM evaluado (mediante red geodésicas, levantamientos de terreno con GPS, métodos fotogramétricos, o bases de datos existentes de alta precisión) y deben estar distribuidos densamente en la vecindad de áreas de interés. Si se disponen de conjuntos de datos de alta precisión levantados por diferentes medios, se deben dar sus características para hacer la comparación del DEM respecto a los diferentes sub-conjuntos de datos disponibles" (Geoinformática Latinoamérica, S.A, 2013).*

La precisión debe reportarse en distancia de terreno a un nivel de confianza del 95% (p = 0,95), lo cual significa que el 95% de las posiciones del conjunto de datos tendrá un error con respecto a la posición real de terreno que es igual o menor que el valor de precisión reportado (la misma línea explicativa se sigue para p = 0.90)

Un mínimo de 20 puntos de control serán comprobados, distribuidos para reflejar el área de interés y la distribución del error en el conjunto de datos.

El reporte de la precisión debe darse en distancias de terreno (por ejemplo metros) de tal forma que permita comparar los conjuntos de datos en diferentes escalas o resoluciones.6

RMSE aplicado al ortofotomosaico de Pijao.

De los 27 puntos de control tomados en campo, se procedió a realizar el cálculo del error medio cuadrático para 25 de ellos, y se descartaron los puntos de control (PC-25 y PC-26) debido a que la imagen no presentaba visualización de dichos sitios, teniendo como cantidad de pareas de coordenadas n= 25.



Aplicando los estándares indicados en el documento Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy para RMSE se obtuvo:

ID	Cod_Punto	"X" ESTE	"Y" NORTE	Xi (m)	S	S²	RMSE
1	PC 1	1152618,40	971710,10	5,762245	-1,18831964	1,412103567	0,281707468
2	PC 2	1152494,80	971590,16	6,62111	-2,04718464	4,19096495	
3	PC 3	1152454,01	971465,82	4,566959	0,00696636	4,85E-05	
4	PC 4	1152420,60	971414,85	5,492664	-0,91873864	0,844080689	
5	PC 5	1152608,40	971373,50	2,178303	2,39562236	5,739006492	
6	PC 6	1152410,32	971349,43	4,07555	0,49837536	0,248377999	
7	PC 7	1152533,88	971302,03	5,374361	-0,80043564	0,640697214	
8	PC 8	1152372,83	971236,33	1,954172	2,61975336	6,863107667	
9	PC 9	1152526,52	971174,50	1,341158	3,23276736	10,4507848	
10	PC 10	1152594,38	971154,88	2,085578	2,48834736	6,191872584	
11	PC 11	1152246,81	971155,30	11,586533	-7,01260764	49,17666591	
12	PC 12	1152328,16	971132,75	6,093254	-1,51932864	2,308359516	
13	PC 13	1152443,29	971089,54	4,049319	0,52460636	0,275211833	
14	PC 14	1152544,35	971052,92	3,778135	0,79579036	0,633282297	
15	PC 15	1152277,58	971014,52	5,293851	-0,71992564	0,518292927	
16	PC 16	1152398,69	970972,16	4,679836	-0,10591064	0,011217064	
17	PC 17	1152224,03	970975,30	5,692592	-1,11866664	1,251415051	
18	PC 18	1152248,42	970894,23	4,225439	0,34848636	0,121442743	
19	PC 19	1152359,10	970853,70	4,211556	0,36236936	0,131311553	
20	PC 20	1152222,44	970841,46	5,070344	-0,49641864	0,246431466	
21	PC 21	1152382,64	970747,98	3,918535	0,65539036	0,429536524	
22	PC 22	1152309,18	970708,03	2,382409	2,19151636	4,802743956	
23	PC 23	1152233,15	970525,08	4,811884	-0,23795864	0,056624314	
24	PC24	1152698,66	971237,51	3,972261	0,60166436	0,362000002	
25	PC27	1152474,29	971150,41	5,130086	-0,55616064	0,309314657	
			X media	4,57392536		3,888595772	

Tabla 5. RMSE: Error medio cuadrático.

Dónde:

n: Número de mediciones

Xi: Diferencia del punto de control y punto sobre la imagen

$\bar{X}$: $\frac{\sum Xi}{n}$

S: $\bar{X} - Xi$

$$RMSE = \sqrt{\frac{S^2}{2n-1}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{3,888595773^2}{2(25)-1}} = 0,281707468$$



El valor de la raíz del promedio de la suma de las diferencias cuadráticas entre el valor de coordenadas “XY” de cada uno de los 25 elementos componentes de los puntos de control terrestres tomados en campo sobre el centro urbano de Pijao y el valor correspondiente a las coordenadas (“Y” norte, “X” este) de estos elementos en el ortofotomosaico del dron es RMSE = 0,281707468 metros. Es decir, la corrección aplicada al ortofotomosaico una vez realizado el proceso fotogramétrico de georreferenciación con los 25 puntos de control tomados en campo, nos brinda un resultado muy satisfactorio al pasar de 4,507 m (Imagen sin puntos de control terrestres) y nuestro resultado final de 0,282 (Imagen con puntos de control terrestres).

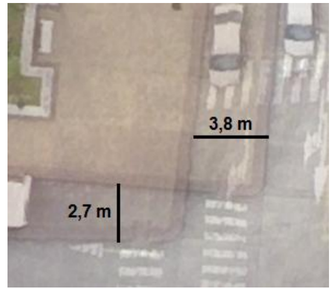


Figura. 6. Ortofotomosaico sin corrección. Evidencia de desplazamiento



Figura. 7. Ortofotomosaico corregida con puntos de control

Tomando como referencia los limites de RMSE para escalas métricas establecido por el NSDI de los Estados Unidos, se identifica que para la escala de trabajo 1:2.000, el límite permitido de error está en 0,5 m, y el RMSE obtenido mediante la corrección fotogramétrica fue de 0,282 m; por tal razón se identifica que la imagen cuenta con el estándar para trabajar mediante esta escala de trabajo, según lo establece el decreto 1807 de 2014 para estudios a nivel urbano para el ordenamiento territorial en Colombia.

Class 1 Planimetric Accuracy Limiting RMSE (meters)	Map Scale
0.0125	1:50
0.025	1:100
0.050	1:200
0.125	1:500
0.25	1:1,000
0.50	1:2,000
1.00	1:4,000
1.25	1:5,000
2.50	1:10,000
5.00	1:20,000

Tabla 6. ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps
Class 1 horizontal (x or y) limiting RMSE for various map scales at ground scale for metric units Geospatial Positioning Accuracy Standards
Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy, 1998.



Cartografía temática

Con el objeto de brindar un proceso de evacuación organizado, rápido y seguro, el centro urbano fue clasificado en 7 zonas, denominadas cuadrantes, los cuales tienen una clasificación en color y una respectiva ruta de evacuación a su punto de encuentro más cercano, con rutas demarcadas con el mismo color del cuadrante, haciendo uso de vías del centro urbano y algunos senderos transitables. Tomando como referencia el volumen II: Preparación y Respuesta, Manual B: Operaciones, sectorización, guía INSARAG, OCHA, 2015. **Ver anexo B, mapa escala 1:2.000.**

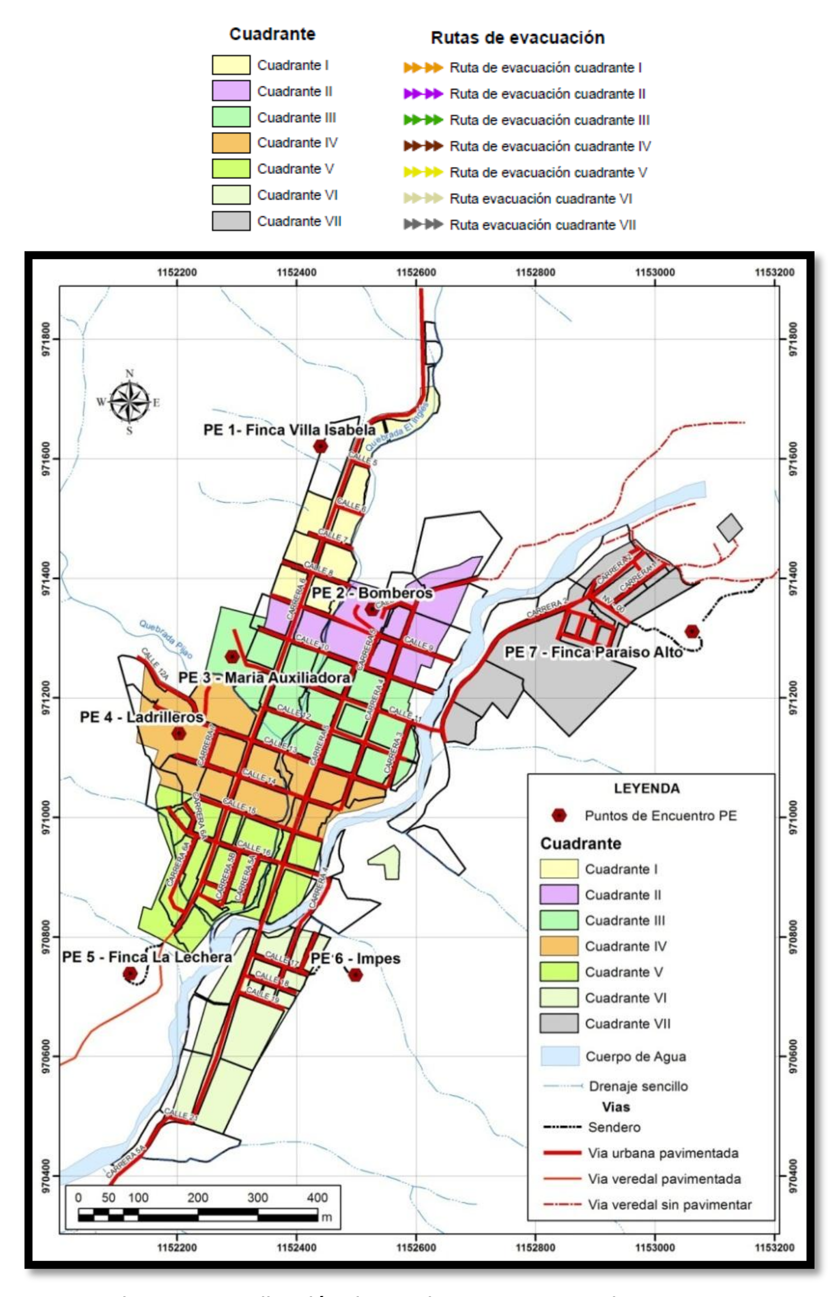


Figura 8. Localización de cuadrantes y puntos de encuentro.



1152200 1152400 1152600 1152800 1153000 1153200

971800
971600
971400
971200
971000
970800
970600
970400

N
W E
S

PE 1- Finca Villa Isabela
Quebrada El Ingles
PE 2 - Bomberos
Quebrada Pijao
PE 3 - Maria Auxiliadora
PE 4 - Ladrilleros
PE 7 - Finca Paraiso Alto
PE 5 - Finca La Lechera
PE 6 - Impes

0 50 100 200 300 400 m

LEYENDA
Puntos de Encuentro PE
Cuadrante
Cuadrante I
Cuadrante II
Cuadrante III
Cuadrante IV
Cuadrante V
Cuadrante VI
Cuadrante VII
Cuerpo de Agua
Drenaje sencillo
Vias
Sendero
Via urbana pavimentada
Via veredal pavimentada
Via veredal sin pavimentar

Figura 9. Localización de rutas de evacuación y puntos de encuentro.



LEYENDA TEMÁTICA

Este mapa le brindará la información necesaria para iniciar un proceso de evacuación rapido y ordenado el cual lo llevará a un sitio seguro. Siga por favor las siguientes instrucciones:

1. En caso de emergencia, la sirena de bomberos sonará con un sonido fuerte y prolongado.
2. Mantenga la calma.
3. Identifique su ubicación dentro del centro urbano del municipio.
4. Identifique su punto de encuentro y ruta de evacuación más cercana.
5. Inicie el proceso de evacuación y dirijase al punto de encuentro más cercano, de forma segura y en calma, ayude a mujeres, niños y adultos mayores en el proceso de evacuación.
6. En el punto de encuentro espere las instrucciones oficiales de los organismos de socorro y demas instituciones oficiales.
7. Espere en este sitio hasta que la alerta cambie de nivel, o las instituciones de socorro brinden las instrucciones necesarias.



Nota: Con el objeto de brindar un proceso de evacuación organizado, rápido y seguro, el centro urbano fue clasificado en 7 zonas, denóminadas cuadrantes, los cuales tienen una clasificación en color, y una respectiva ruta de evacuación a su punto de encuentro mas cercano, con rutas demarcadas con el mismo color del cuadrante.

Puntos de Encuentro PE

Punto de Encuentro	Coordenadas Planas Origen Magna Colombia Oeste		Altura (m)	Nombre
	Este	Norte		
PE 1-	1152440,87	971620,97	1688	Finca Villa Isabela
PE 2 -	1152526,91	971347,89	1700	Bomberos
PE 3 -	1152292,89	971268,74	1675	Maria Auxiliadora
PE 4 -	1152203,59	971140,16	1671	Ladrilleros
PE 5 -	1152122,18	970738,73	1680	Finca La Lechera
PE 6 -	1152499,00	970736,00	1665	Impes
PE 7 -	1153062,76	971311,11	1725	Finca Paraiso Alto

Figura 10. Leyenda temática del mapa.



RECOMENDACIONES

1. Se debe de socializar el estudio con todas las autoridades locales, instituciones de socorro y de nivel departamental.
2. Se debe de socializar el estudio con los habitantes del municipio de Pijao.
3. Se deben construir y emplazar 2 vallas de (1,20 m * 1,20 m) las cuales contengan el mapa de puntos de encuentro y rutas de evacuación de forma visualmente claro y en un tamaño legible y entendible. Estas vallas se instalaran, 1 en la vía principal al acceso al centro urbano, y la otra en una de las esquinas del parque principal.



Fotografía 17. Ejemplo valla de mapas puntos de encuentro y rutas evacuación.

4. Se debe articular el sistema de alerta con sirenas auxiliares en los sitios más retirados del centro urbano, las cuales estén interconectadas con la sirena principal en la estación de bomberos, con el objeto de brindar cobertura auditiva a todo el centro urbano.

5. Los puntos de encuentro se deben de someter a limpieza de maleza, apertura de broches en los cercos e identificación con una valla permanente que indique el punto de encuentro, tal como se muestra en la siguiente fotografía de ejemplo. El punto de encuentro debe de estar tanto en español como en inglés, teniendo en cuenta la población de turistas que visitan al municipio.



Fotografía 18. Ejemplo valla de puntos de encuentro.

6. Se debe de realizar un simulacro integrado, el cual ponga en funcionamiento el sistema de alertas (sirenas), la articulación de los grupos de socorro e instituciones municipales, y conocimiento de la comunidad, tiempos de desplazamiento y respuesta a los puntos de encuentro, al igual que la misma capacidad de albergar población en los lugares seleccionados.

LIMITANTES

Falta de información cartográfica a nivel urbano a escala detalla, 1:2000.

Falta de estudios e información reciente sobre la zona de estudios con respecto a la caracterización biofísica del municipio y amenazas antrópicas y naturales.

La información cartográfica se encuentra en diversos formatos y sistemas cartográficos de referencia, donde no se conoce el sistema de coordenadas con el que se realizó la información.

Las fotografías aéreas con las que se estructuró el Ortofotomosaico presentan un porcentaje de nubosidad del 8% las cuales dejan al municipio sin información y limita la precisión de los resultados para dichas zonas.

Desconocimiento por parte de los habitantes del municipio, las rutas de encuentro y puntos de evacuación establecidos anteriormente.

ANEXOS

ANEXO A. CARTERA DE CAMPOS PUNTOS DE CAMPO.
ANEXO B. MAPA ESCALA 1:2000.
ANEXO C. METADATO, DERECHOS DE AUTOR



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS

CONGRESO DE LA REPÚBLICA COLOMBIA. Decreto 1807 de 2014, Reglamentación del artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012. Bogotá.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA COLOMBIA. Ley 1523 de 2012, Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA COLOMBIA. Ley 388 de 1997, Armonizar y actualizar las disposiciones contenidas en la Ley 9a. de 1989 con las nuevas normas establecidas en la Constitución Política, la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo, la Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas y la Ley por la que se crea el Sistema Nacional Ambiental. Bogotá.

Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas OCHA, Guías de INSARAG, Volumen II: Preparación y Respuesta, Manual B: Operaciones, sectorización, 2015.

Federal Geographic Data Committee (FGDC), 1998, Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. FGCD-STD-007.3-1998.

DÍAZ HERNÁNDEZ, D. M. y ALFARO CASTILLO, A. J, 2014. Mapas de amenaza sísmica para Colombia utilizando la nueva generación de ecuaciones de atenuación (NGA-2008). Épsilon (22), 55-79.

LAVELL Allan. 2003. La gestión local del riesgo, nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. Programa Regional para la Gestión del Riesgo en América Central. CEPREDENAC – PNUD.

DECLARACIÓN DE MANIZALES. 2004. Conferencia Interamericana sobre reducción del riesgo de los desastres. Reflexiones y propuestas para mejorar la efectividad de la gestión. Noviembre 17, 18 y 19, Manizales.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN DNP, 2005. Guía ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención de riesgos en el nivel municipal. Bogotá.

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO – INGEOMINAS – C.R.Q. – FOREC. 2000. Estudio de amenaza sísmica en los 26 municipios del eje cafetero, afectados por el sismo del 25 de enero de 1999., Armenia.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, INGEOMINAS, UNIANDES, 1998. “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia“, Segunda Edición, Bogotá.



ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, 2009. Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2009. Comité AIS-300: Amenaza sísmica. Bogotá.

CARDONA, O. D., 2013. Incorporación del riesgo en el ordenamiento territorial. Instructivo para el nivel municipal. Parte 1. PRICC-PNUD, piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial municipal. Bogotá.

CRQ, CARDER, CVC, UASPENN, MAVDT, IDEAM y GTZ, 2008. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del rio la vieja. Armenia.

ALCALDIA DE PIJAO. 2017. Plan de desarrollo territorial del municipio de Pijao para periodo 2.016- 2.019 “el gobierno del pueblo. Pijao Quindío.

ALCALDIA DE PIJAO. 2000. Esquema de ordenamiento territorial de Pijao. Pijao Quindío.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI IGAC, 2011. Plancha cartográfica formato .gdb escala 1:10.000, 243IVA3. Bogotá.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI IGAC, 2009. Ortofotomosaico, compuesto por las fotografías aéreas de 0,3 m con cobertura parcial del municipio de Pijao Quindío.